

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
der Universität Erlangen-Nürnberg

Direktor: Professor Dr. Manfred Hofmann

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE BEEINFLUSSUNG DES KONDYLENBAHN- WINKELS IN ABHÄNGIGKEIT VARIABLER ACHSPUNKTE BEI EXTRAORALER REGISTRIERUNG

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von
Luis E. Olavarria A.
Valparaiso/CHILE



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546211_0077

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
der Universität Erlangen - Nürnberg

Direktor: Professor Dr. Manfred Hofmann

**UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE
BEEINFLUSSUNG DES KONDYLENBAHN-
WINKELS IN ABHÄNGIGKEIT
VARIABLER ACHSPUNKTE BEI
EXTRAORALER REGISTRIERUNG**


Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Luis E. Olavarria A.
Valparaiso/CHILE

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Friedrich - Alexander - Universität Erlangen-Nürnberg
und mit Unterstützung des Deutschen Akademischen
Austauschdienstes



Dekan: Prof. Dr. W. Kersten
Referent: Prof. Dr. M. Hofmann
Tag der mündlichen Prüfung: 11.02.1980

Meiner Frau

Meinen Kindern

gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1.0 EINLEITUNG UND POBLEMSTELLUNG	1
2.0 LITERATURÜBERSICHT	2
3.0 EIGENE UNTERSUCHUNGEN	5
3.1 Material und Methodik	5
4.0 ERGEBNISSE UND DISKUSSION	11
4.1 Statistische Auswertung	15
4.2 Vergleich der Meßergebnisse an- hand theoretischer Überlegungen	21
4.3 Relative Größe der Abweichungen	24
4.4 Photographisches Verfahren und Computeranalyse	28
4.5 Berechnung der Rotationswinkel	31
4.6 Berechnung der Trajekturen bei der Öffnungsbewegung	33
5.0 ZUSAMMENFASSUNG	37
6.0 TABELLEN (EINZELWERTE)	38
7.0 LITERATURVERZEICHNIS	42

LEBENS LAUF

1.0 EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die Okklusion der Zahnreihen, d. h. die Kontaktbeziehungen von Unterkiefer- und Oberkieferzähnen in der Schlußposition des Unterkiefers und während der Vorschub- und Seitwärtsbewegungen ist bestimmend für die Gesunderhaltung des Parodontiums, des Kiefergelenks sowie für eine störungsfreie Funktion der Muskulatur.

Bei der Rekonstruktion des Kauflächenkomplexes - unabhängig ob es sich um festsitzenden oder abnehmbaren Zahnersatz handelt - müssen daher die sogenannten Okklusionsparameter am Patienten vom Zahnarzt ermittelt und in ein Hilfsgerät, den Artikulator, eingegeben werden. Einer dieser Parameter stellt die sagittale Kondylenbahn bzw. den Gelenkbahnwinkel dar.

Die Bestimmung dieses Gelenkbahnwinkels kann auf verschiedene Art und Weise und mit unterschiedlichen Instrumenten erfolgen. Die gebräuchlichen Methoden sind die indirekte, intraorale, mit Hilfe von Protrusionscheckbissen und die direkte, extraorale, graphische Aufzeichnung der Kondylenbahn mittels eines Gesichtsbogens.

Ausgangspunkt bei der extraoralen Bestimmung sind der Referenzpunkt des lateralen Kondylenpols an der äußeren Haut, bzw. der arbiträre Gelenkachspunkt oder die Referenzpunkte der individuellen Scharnierachse. Da der Unterkiefer weder beim Öffnen noch bei der Vorschubbewegung eine reine Scharnierbewegung ausführt, sind Fehler bei der Registrierung der Gelenkbahn nicht auszuschließen, vor allem wenn die Aufzeichnung ihren Ausgangspunkt von den lateralen Polen oder den arbiträren Achspunkten nimmt.

Es soll in dieser Arbeit daher untersucht werden, wie groß die Fehler sind, wenn die Ausgangspunkte der Aufzeichnung in anterior-posteriorer und kranio-kaudaler Richtung vom arbiträren Achspunkt abweichen.

2.0 LITERATURÜBERSICHT

Die dieser Arbeit zugrundeliegende Fragestellung wurde bislang noch nicht untersucht. Die Gelenkbahnneigung läßt sich nach intraoralen, extraoralen (graphisch) und röntgenologischen Methoden bestimmen.

Auf Unterschiede im Ergebnis der einzelnen Verfahren wurde von SETZ (15) hingewiesen:

In einer vergleichenden Untersuchung an 7 Probanden wurde die Gelenkbahnneigung enoral, extraoral und röntgenologisch bestimmt. Bei wiederholten Messungen konnten bei der enoralen Methode Abweichungen bis 4° , bei der extraoralen bis 8° festgestellt werden. Die röntgenologisch ermittelten Werte ergaben meist eine steilere Kondylenbahnneigung.

Eine ähnliche Untersuchung wurde von PEZZOLI (14) beschrieben:

Bei einer Gruppe von 16 Patienten wurde auch die sagittale Kondylenbahn (rechts- und linksseitig) nach den drei verschiedenen oben genannten Methoden ausgemessen. Wie bei SETZ wurden die Messungen in einem geregelten zeitlichen Abstand wiederholt. So differierten die Winkel doch recht erheblich: Zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Meßwert bestand ein Unterschied von 4° bis 20° (Durchschnittswert von 11°). Bei der intraoralen Methode betrug die mittlere Differenz 4° , bei der graphischen Methode 3° und bei den röntgenologischen Untersuchungen 2° - 3° . In Übereinstimmung mit SETZ gibt auch PEZZOLI höhere Winkelwerte bei den röntgenologischen Messungen an.

Die Gründe für die Abweichungen oder Differenzen (z. B. bei Versuchswiederholung) sind verschiedener Art. Sie sind zum Teil in systematischen Fehlern des Verfahrens selbst (Projektionsfehler), bei den untersuchten Patienten (bezahnt oder unbezahnt) oder beim Untersucher begründet.

Unterschiede finden sich in der Literatur schon bei der Definition der arbiträren Gelenkachspunkte. So nimmt GYSI (7) 1914 die Achspunkte 10 mm vor dem Tragion an.

(Tragion: kephalometrischer Meßpunkt. Er entspricht dem Kreuzungspunkt je einer am Oberrand und dem vorderen Rand des äußeren Gehörganges angelegten Tangente).

HANAU (8) 1930, lokalisiert diesen Punkt 13 mm vom äußeren Gehörgang entfernt auf einer Verbindungslinie zum seitlichen Augenwinkel. FISCHER (4) 1954, gibt ihn 12 mm vom Tragusrand entfernt an, auf der Linie seitlicher Augenwinkel-Tragus. BECK (1) 1970, plazierte den Punkt 10 mm vor dem Porus accusticus externus und 7 mm unterhalb der Frankfurter Horizontalen. Für THOMAS (16) 1971, liegt die arbiträre Gelenkachse 11 mm vom oberen Tragusrand entfernt auf der Linie zum äußeren Augenwinkel und 5 mm unterhalb. BOSMAN (2) 1974, nahm für seine Untersuchungen einen Punkt an, der 12 mm vor dem höchsten Punkt des Porus accusticus externus auf einer Linie zum Kanthus lag. Er kommt zu dem Schluß, daß dieser Wert korrigiert werden sollte und empfiehlt zum Aufsuchen des arbiträren Scharnierachsenpunktes folgende Methode:

Auf der Verbindungslinie des höchsten Punktes des äußeren Gehörganges zum tiefsten Punkt des Margo infraorbitalis (Frankfurter Horizontale) sollte der Punkt 2,3 mm nach hinten und 1,7 mm nach unten gegenüber dem bisherigen Punkt liegen.

GERBER (5) wiederum setzt die lateralen Pole der Kondylen mit den Achspunkten gleich und markiert sie etwa 10 - 13 mm vor dem äußeren Gehörgang auf der Ohr-Nasen-Ebene.

Als ein gewisser Nachteil der extraoralen Registrierung muß die vertikale "Bißsperrung" angesehen werden. Das Registriergerät, in der Regel ein Gesichtsbogen mit

Schreibstiftvorrichtung, wird mit einem Löffel und Befestigungsmasse, z. B. Gips, an der Unterkieferzahnreihe befestigt. Dadurch kann der Patient seine ursprüngliche Schlußbißlage nicht mehr einnehmen. Die Aufzeichnung erfolgt aus einer etwas erhöhten Position heraus. Man wird daher bemüht sein müssen, diese Sperrung so gering wie möglich zu halten.

3.0 EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Folgende Fragen sollten untersucht werden:

1. Wie groß sind die Abweichungen der sagittalen Kondylenbahn und des Kondylenbahnwinkels, wenn die Aufzeichnungen jeweils 5 und 10 mm anterior, posterior, kranial und kaudal von einem genau definierten Ausgangspunkt vorgenommen werden?
2. Welche Schlußfolgerungen lassen sich für die Praxis hieraus ziehen?

3.1 Material und Methodik

Für die Untersuchungen wurden 30 Studenten mit vollständiger Bezaehlung und störungsfreier Muskel- und Gelenkfunktion ausgewählt.

Die Aufzeichnung der Kondylenbahn erfolgte mit einem All-Oral-Gesichtsbogen, der mittels eines speziellen Löffels an den Unterkieferzähnen befestigt wurde.

Registriert wurde die Öffnungsbahn des Gelenkkopfes.

Ausgangspunkt der Öffnungsbewegung war der arbiträre Scharnierachspunkt, der als Mittelwert auf der Linie: seitliche Augenwinkel - Mitte Tragus, 12 mm vom Tragusrand auf der Haut markiert wurde. Auf die Bestimmung des individuellen Scharnierachspunktes wurde verzichtet, da dies für die Fragestellung nicht erforderlich war. Als Bezugsebene für die sagittale Öffnung diente die Camper'sche Ebene (Subnasalpunkt - Mitte Tragus).

Die Durchführung der Registrierung erfolgte folgendermaßen:

Markierung des arbiträren Scharnierachspunktes mit Hilfe einer Schablone und eines Filzschreibers (Abb. 1).

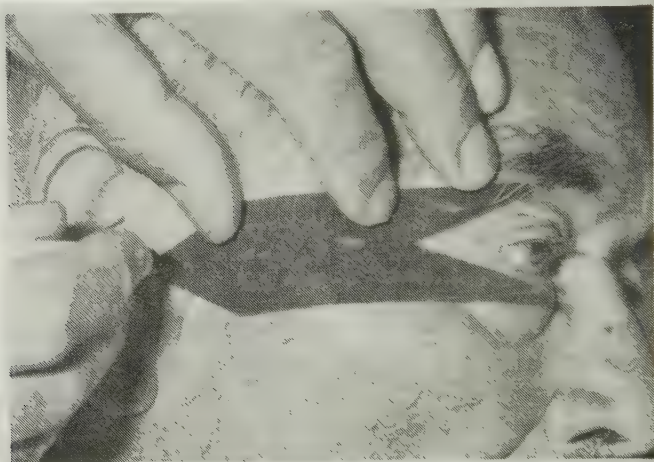


Abb. 1 Markierung des arbiträren Scharnierachsenpunktes 12 mm vom Tragusrand entfernt auf der Linie äußerer Augenwinkel - Mitte Traugus mit Hilfe einer Schablone.

Der Proband bekam eine Brille aufgesetzt, an deren Bügel eine durchsichtige dünne Erkodurscheibe mit eingravierten parallelen und rechtwinklig zueinander liegenden Linien (Fadenkreuz) drehbar befestigt wurde. Die Scheibe wurde so eingestellt, daß der horizontale Schenkel des Fadenkreuzes parallel zur Camper'schen Ebene verlief, und der Kreuzungspunkt der beiden Schenkel mit dem arbiträren Scharnierachsenpunkt zusammenfiel (Abb. 2).

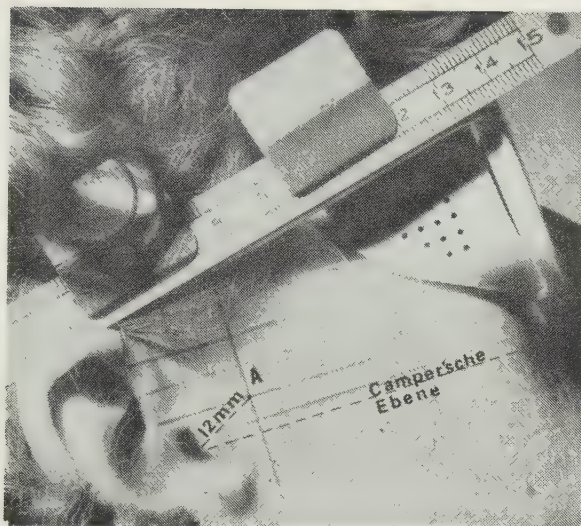


Abb. 2 Einstellung der Erkodurplatte im Fadenkreuz parallel zur Camper'schen Ebene. Der Kreuzungspunkt bei A entspricht dem arbiträren Scharnierachsenpunkt.

Danach wurde auf die Scheibe durchsichtiges Millimeterpapier aufgezogen, dessen Koordinatenlinien auf das Achsenkreuz ausgerichtet waren. Nach dem Einsetzen des Befestigungslöffels wurde der Gesichtsbogen aufgesteckt und der Proband aufgefordert, den Mund bequem bis zum Kontakt mit dem Löffel zu schließen. Diese Position wurde durch Einbisse in das Befestigungsmaterial fixiert, so daß bei jeder Registrierung die gleiche Ausgangssituation gewährleistet war. Danach erfolgte die Ausrichtung des Bogens so, daß die Schreibspitze des Kondylenstiftes senkrecht auf den Schnittpunkt des Achsenkreuzes zeigte. Nach der Regulierung des Anlagedruckes der Schreibspitze führte der Proband drei gleichmäßig zügige, maximale Öffnungsbewegungen aus. Die Ausgangspunkte wurden dann um 5 bzw. 10 mm gegenüber dem arbiträren Scharnierachsenpunkt variiert und zwar in anterior-posteriorer und cranio-kaudaler Richtung. (Abb. 3)

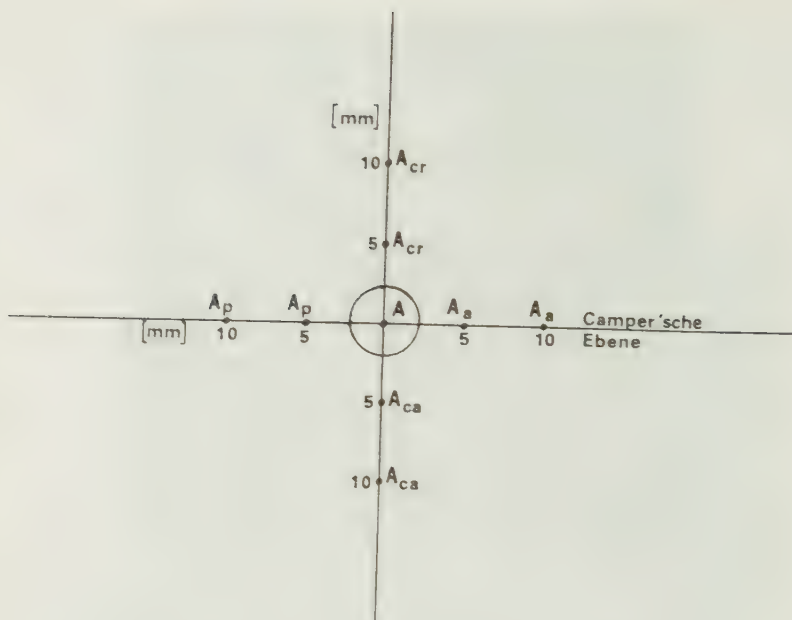


Abb. 3 Schema mit den einzelnen Ausgangspunkten.

Die Punkte wurden wie folgt bezeichnet:

A : arbiträre Scharnierachsenpunkte
 A_{a5} bzw. A_{a10} : Ausgangspunkte 5 bzw. 10 mm vor dem Scharnierachsenpunkt A

A_{p5} bzw. A_{p10} : Ausgangspunkte hinter dem Scharnierachsenpunkt A

A_{cr5} bzw. A_{cr10} : Ausgangspunkte oberhalb von A

A_{ca5} bzw. A_{ca10} : Ausgangspunkte unterhalb von A

Von jeder dieser 8 verschiedenen Ausgangspositionen wurden jeweils 5 Messungen durchgeführt. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen Originalregistrierungen bei den verschiedenen Ausgangspunkten.

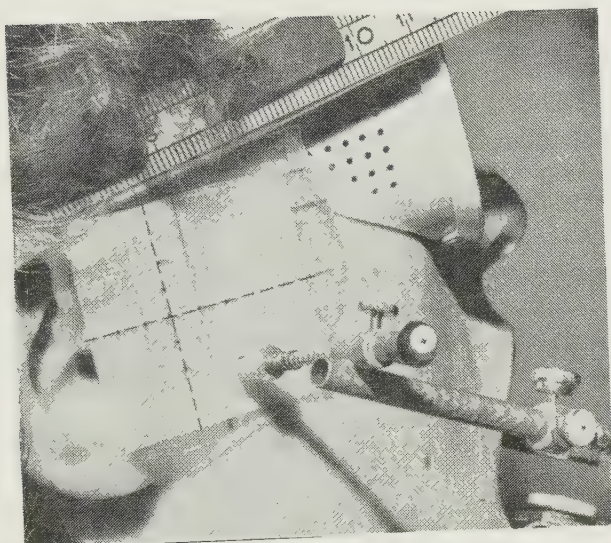


Abb. 4 Registriervorgang mit Gelenkbahnregistraten.

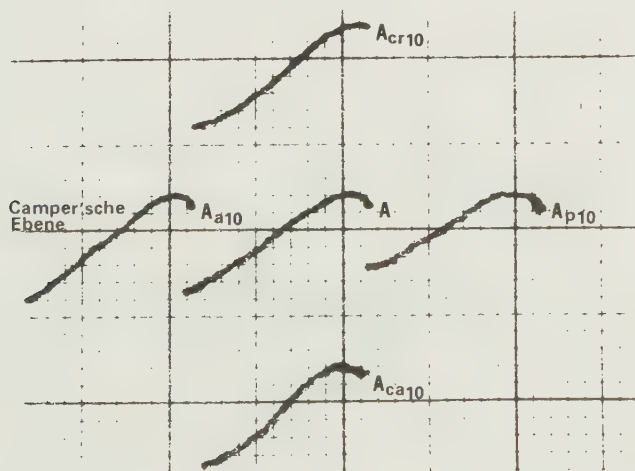


Abb. 5 Original-Registrierung mit den verschiedenen Gelenkbahnregistraten.

Die Ausmessung des Gelenkbahnwinkels erfolgte nach folgendem Schema (Abb. 6). 6 mm vom Ausgangsort A der Bewegung wurde von der Bezugslinie das Lot bis zum Schnitt mit der Kondylenbahn gefällt und eine Gerade vom Ausgangspunkt zum Schnittpunkt des Lotes gezogen. Der Winkel, der von dieser Geraden und der Bezugslinie gebildet wird, wurde dann mit dem Winkelmesser bestimmt. Die einzelnen Werte wurden in einen Rechner gegeben und statistisch verarbeitet. Als Normwinkel wird der Winkel vom Ausgangspunkt A bezeichnet.

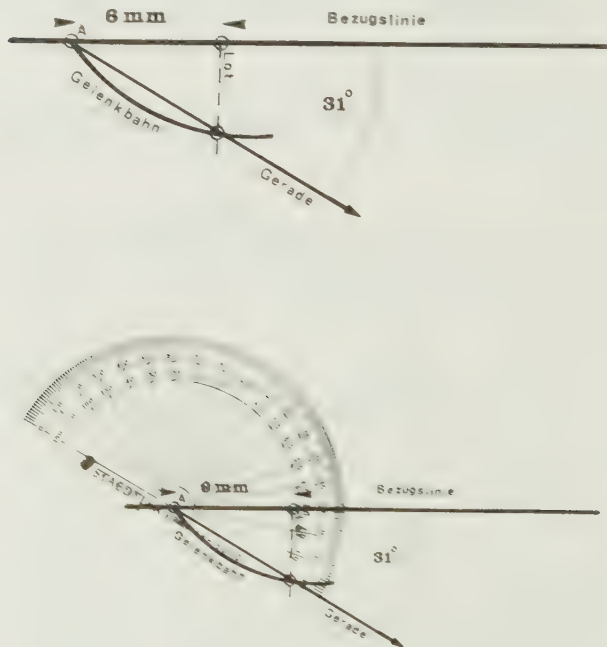


Abb. 6 Ausmessen der Gelenkbahneigung mit dem Winkelmesser.

4.0 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Zunächst sollen die Mittelwerte der Kondylenbahnwinkel in Abhängigkeit von den einzelnen Ausgangspunkten dargestellt werden (Tabelle 1).

Die gemessenen Gelenkbahnwinkel, ausgehend vom arbiträren Scharnierachsenpunkt A, schwanken bei den einzelnen Probanden zwischen $12,8^{\circ}$ und $48,5^{\circ}$ mit einem Mittelwert aller Probanden von $31,6^{\circ}$.

Betrachtet man nun die Abweichungen, die sich bei Änderung des Ausgangspunktes ergeben, so läßt sich folgende Tendenz entnehmen: Verlängert sich der Abstand A-I, das ist der Abstand vom angenommenen Gelenkachspunkt zu den unteren mittleren Schneidezähnen, was bei den Ausgangspunkten A_p und A_{cr} der Fall ist, so verkleinert sich der Winkel. Bei Verkürzung dieses Abstandes vergrößern sich die gemessenen Winkel entsprechend der Punkte A_a und A_{ca} . Dies sei an einem Beispiel veranschaulicht (Abb. 7):

Bei dem Probanden Nr. 24 betrug der Normwinkel für A = 31° . Die Winkel A_{p5} bzw. A_{p10} wurden mit 28° und 20° bestimmt, während sie für A_{cr5} und A_{cr10} 29° bzw. 20° betrugen. Die Winkel waren also gegenüber dem Normwinkel kleiner.

Dagegen waren die Winkel A_{ca5} mit 32° , A_{ca10} mit 35° sowie A_{a5} und A_{a10} mit 41° bzw. 45° erheblich größer als der Normwinkel.

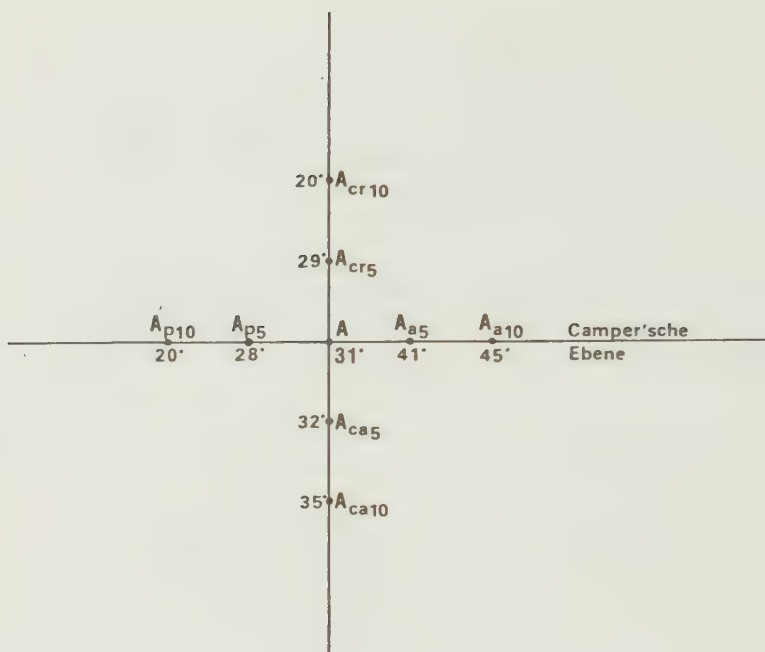


Abb. 7 Proband 24. Abweichungen der einzelnen Winkel von Normwinkel A.

Diese Tendenz geht auch aus den graphischen Darstellungen der Mittelwert-Abweichungen hervor (Abb. 8 und 9).

Eine wichtige Ausnahme zeigt sich für die Werte von A_{ca5} . Sowohl aus unserem oben angeführten Beispiel (Differenz $A_{ca5} - A = 1^\circ$) wie aus der graphischen Darstellung der gemittelten Abweichung ist zu sehen, daß diese Werte kleiner als 2° sind.

Die Tendenz ist hier umgekehrt. Je weiter nach caudal die Gelenkbahn bestimmt wird, umso kleiner wird sie zunächst, obwohl man einen größeren Wert erwartet. Allerdings zeigt sich für alle Werte A_{ca10} die zu Beginn des Kapitels beschriebene Tendenz der Vergrößerung des Gelenkbahnwinkels bestätigt.

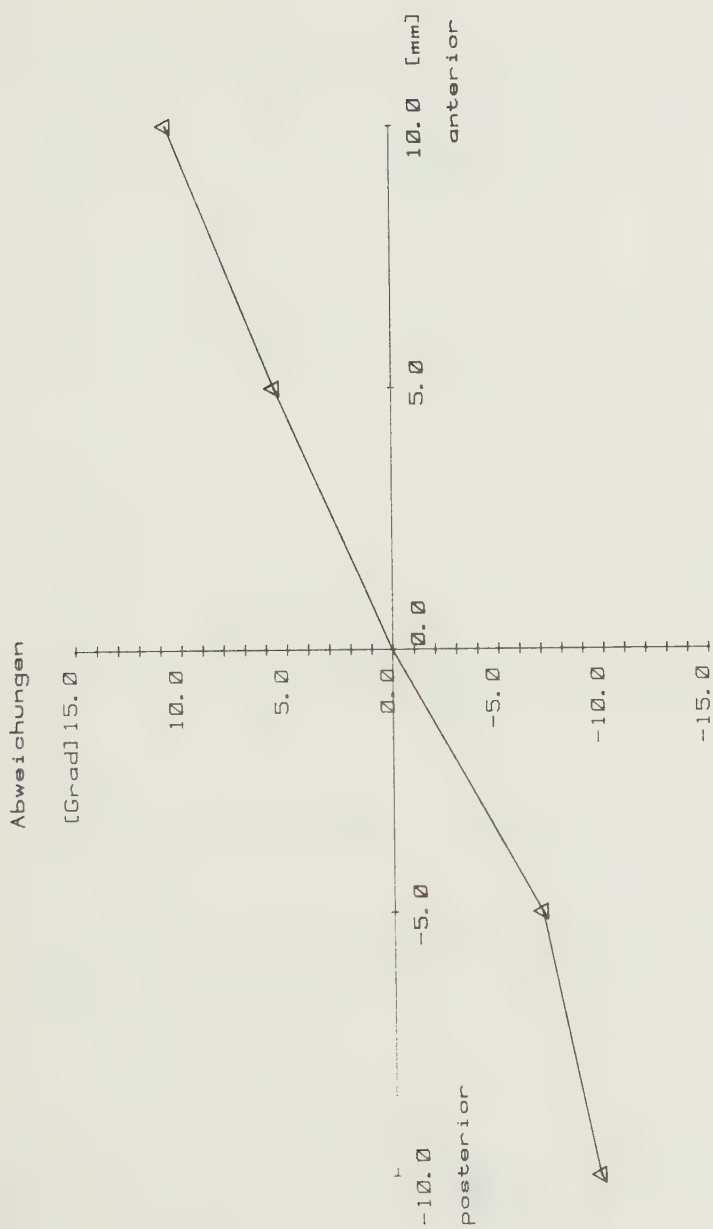


Abb. 8 Mittlere Abweichungen in Grad vom Normwinkel in anterior-posteriorer Richtung

Abweichungen

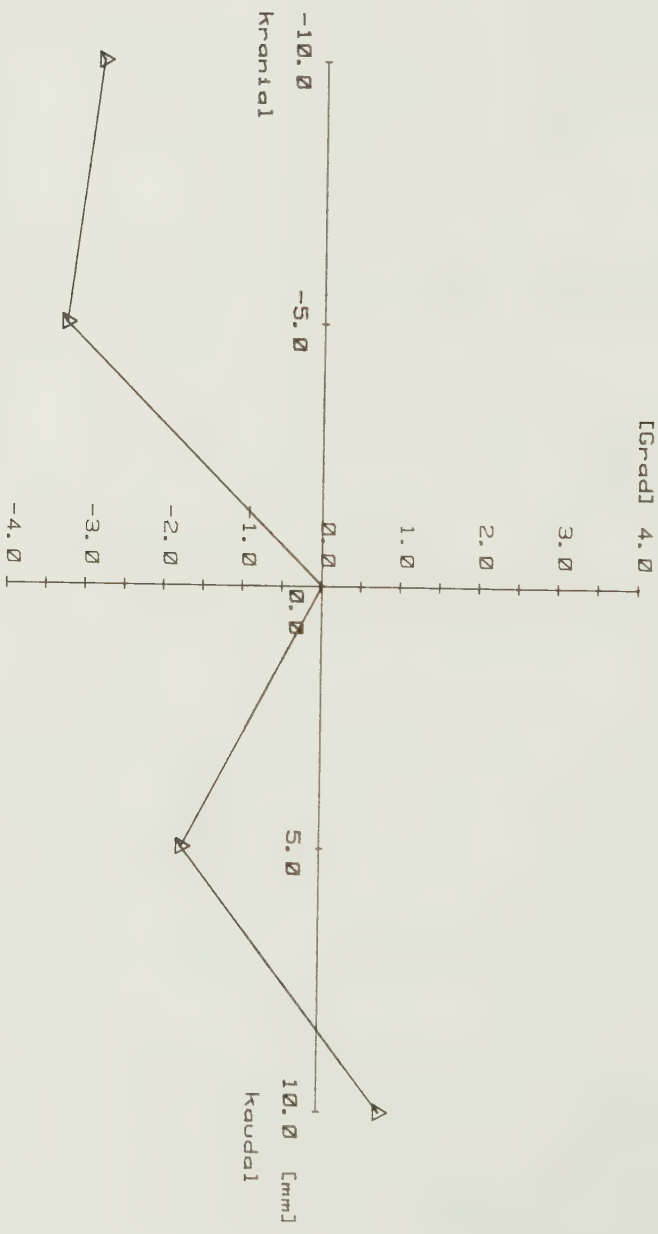


Abb. 9 Mittlere Abweichung in Grad vom Normwinkel in kranio-kaudaler Richtung

Die Gründe für dieses Ergebnis sind vermutlich darin zu suchen, daß die Unterschiede zwischen A und A_{ca5} und die Abweichungen in kranio-kaudaler Richtung insgesamt sehr gering sind ($\pm 2^\circ$), d. h., die durchschnittliche Abweichung liegt in der Größenordnung des Meßfehlers.

4.1 Statistische Auswertung

Der wahre Mittelwert eines jeden Meßpunktes liegt mit einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit α in einem Konfidenzbereich, der durch

$$\bar{x} \pm t_{\alpha} s_{\bar{x}}$$

begrenzt ist..

Hierbei ist $\bar{x}$ der aus den Messungen bestimmte Mittelwert der Abweichungen,

$s_{\bar{x}}$ ist der Standardfehler von $\bar{x}$

t_{α} ist abhängig von der Anzahl der Probanden und von der geforderten Irrtumswahrscheinlichkeit α .

Die Größe $t_{\alpha} s_{\bar{x}}$ kann ohne Rechnung aus statistischen Tafeln entnommen werden (KOLLER 13) (Tabelle 2).

Bei der Auswertung ergaben sich die Konfidenzbereiche, die in Abb. 10 und 11 als senkrechte Balken dargestellt sind, wobei eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % gefordert wurde (Tabelle 3).

Abweichungen

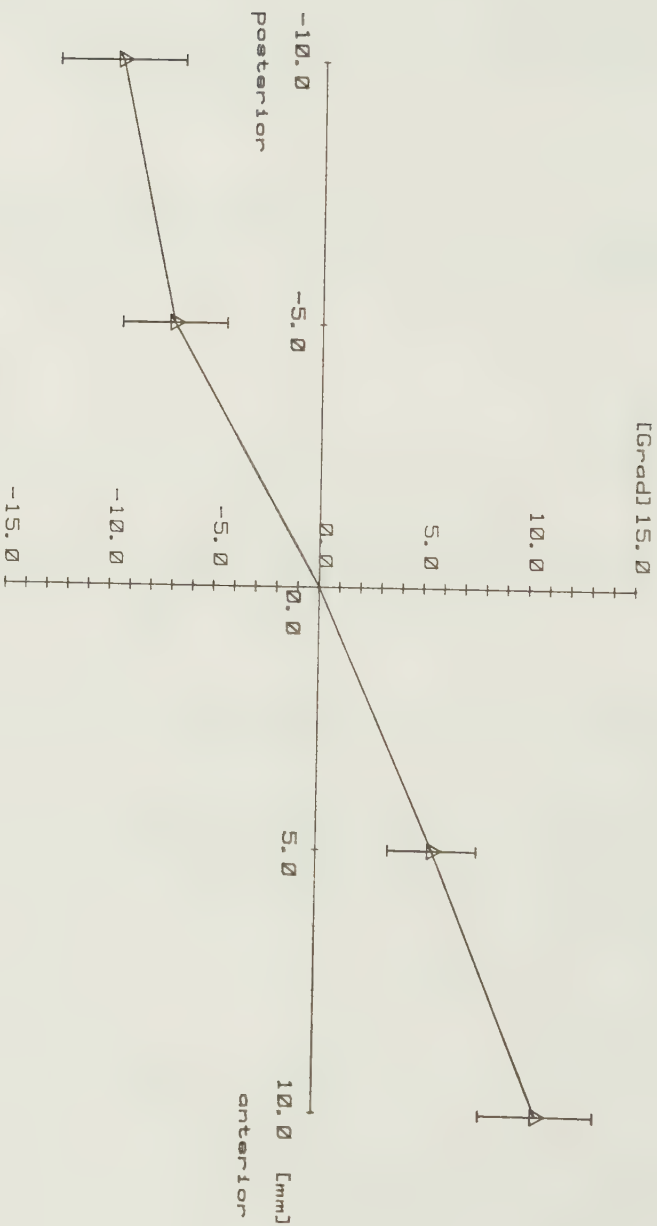


Abb. 10 Konfidenzbereich der wahren Mittelwerte (Irrtumswahrscheinlichkeit 1 %) bei anterior-posteriorer Verlagerung des Scharnierachsenpunktes.

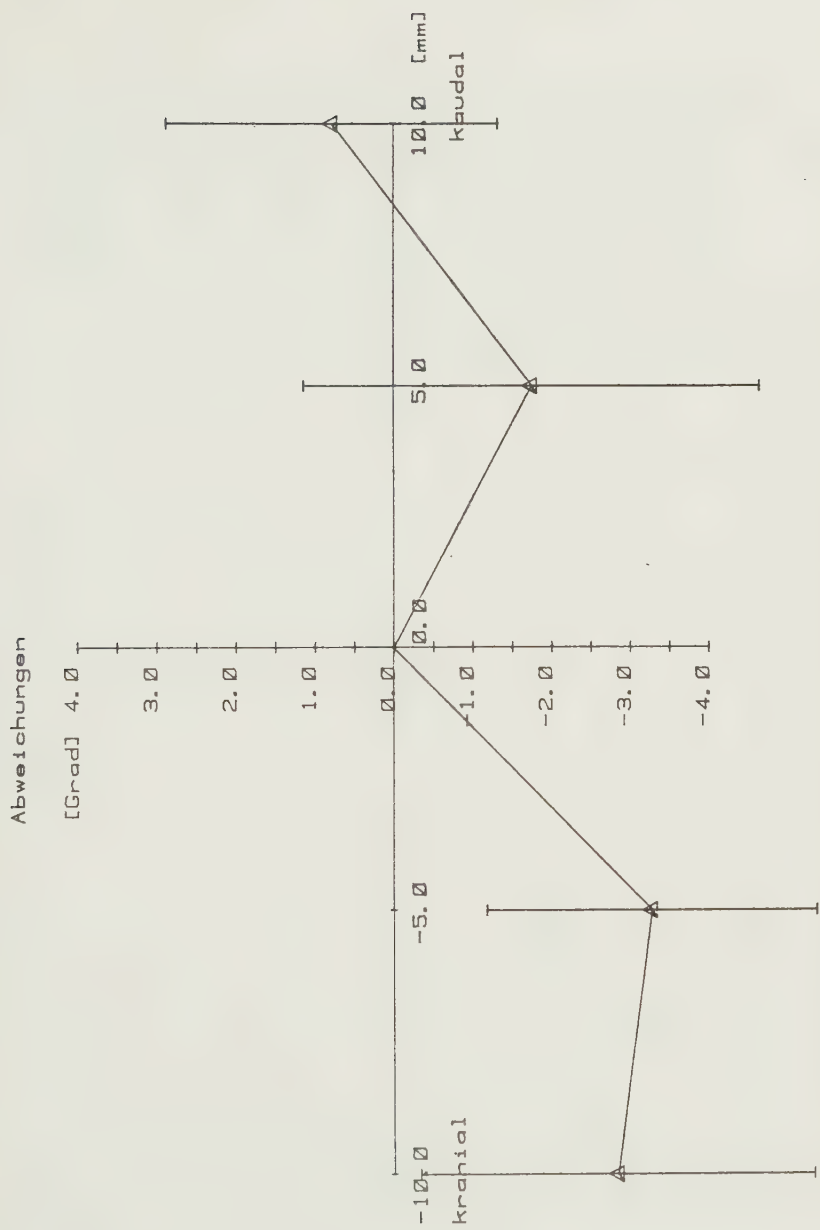


Abb. 11 Konfidenzbereich der wahren Mittelwerte (Irrtumswahrscheinlichkeit 1 %) bei Verlagerung in kranio-kaudaler Richtung.

Generell kann man sagen, daß bei der Verlagerung der Ausgangspunkte um bis zu 10 mm vom arbiträren Gelenkachspunkt nach posterior mit einer Verkleinerung des Gelenkbahnwinkels um ca. - 29 %, bei der Verlagerung nach anterior mit einer Vergrößerung des Winkels um ca. + 39 % gerechnet werden kann, während in kranio-kaudaler Richtung die Abweichungen nur ca. - 8,5 % bis + 2,4 % ausmachen und die kleineren Winkel bei kranialer Verlagerung zustande kommen (Abb. 12, 13).

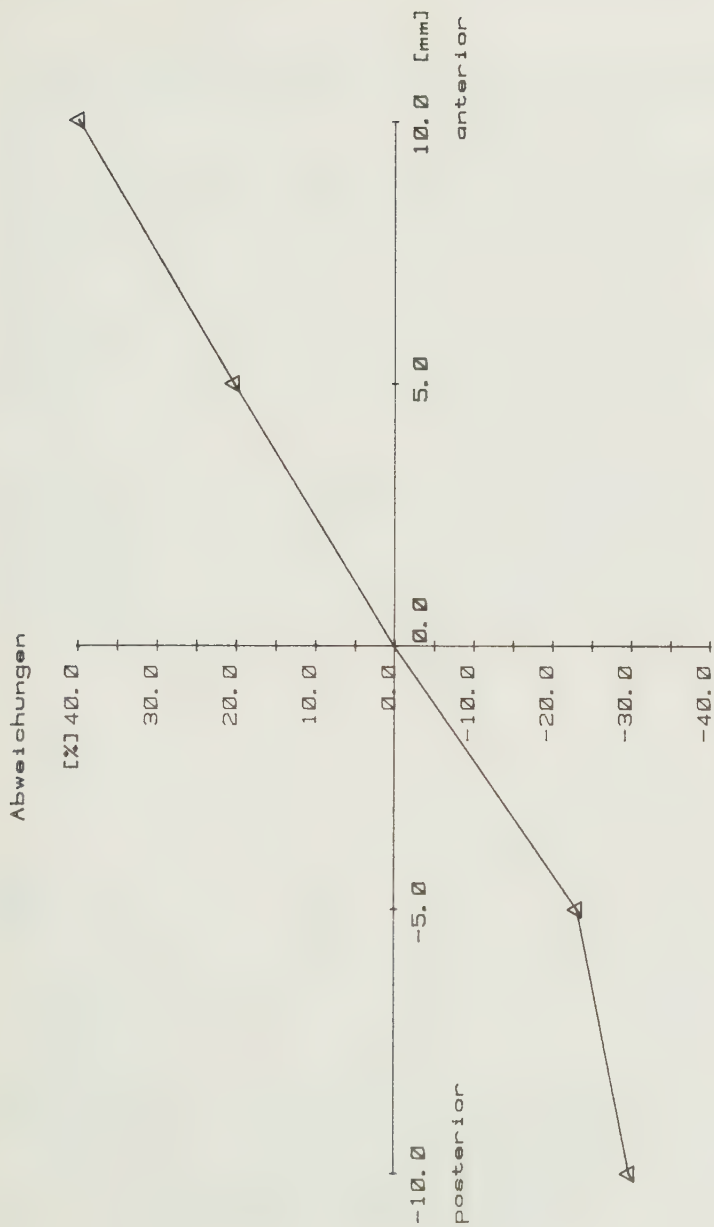


Abb. 12 Mittlere Abweichung in Prozent in anterior-posteriorer Richtung

Abweichungen

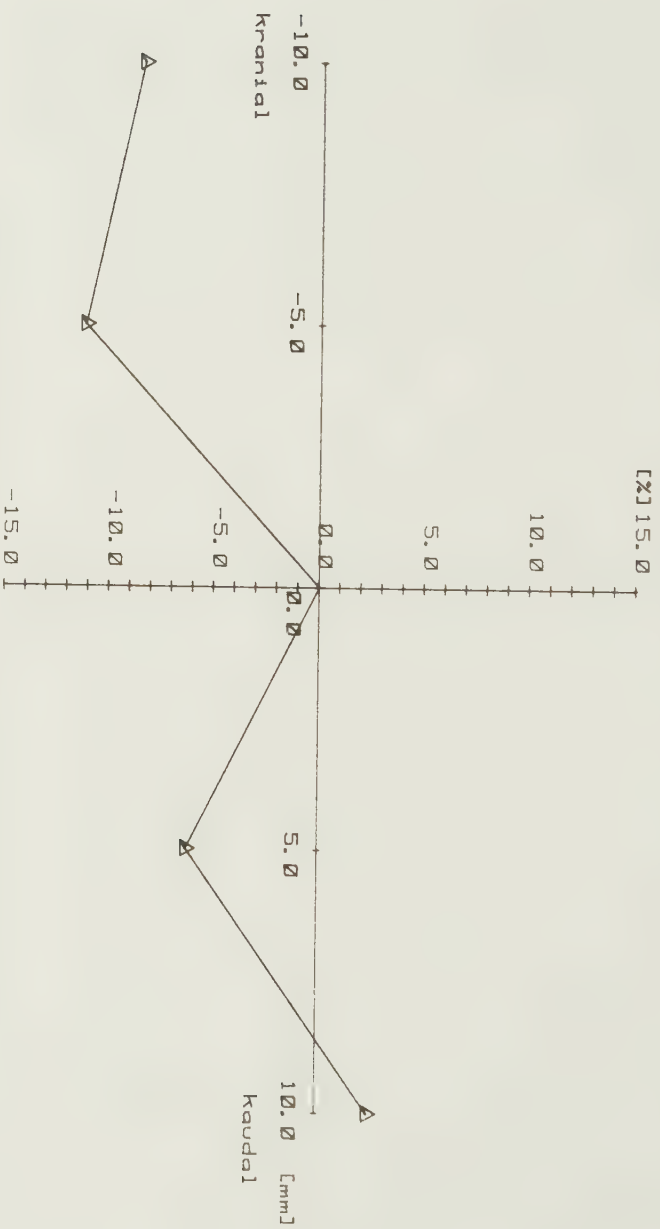


Abb. 13 Mittlere Abweichung in Prozent in kranio-kaudaler Richtung

4.2 Vergleich der Meßergebnisse anhand theoretischer Überlegungen

Zur besseren Untermauerung der Meßergebnisse sollten diese nun mit den Aussagen verglichen werden, die sich aus einer einfachen theoretischen Analyse der Öffnungsbewegung ergeben.

Bei der Kieferöffnung besteht die Bewegung des Kondylus und aller mit ihm fest verbundenen Teile aus einer Verschiebung parallel zur Gelenkbahn und einer Drehung.

Diese beiden Vorgänge laufen in der Realität gleichzeitig ab. Um qualitativ zu verstehen, welche Bewegung ein in der Nähe des Kondylus gelegener Registrierstift beschreibt, kann man sich die beiden Vorgänge zeitlich nacheinander ausgeführt denken (Abb. 14).



Öffnungsbewegung = Parallelverschiebung + Drehung

Abb. 14 Gedankliche Zerlegung der Öffnungsbewegung in Parallelverschiebung und Drehung.

Betrachten wir zunächst den Fall, daß 2 Registrierstifte posterior und anterior vom Kondylus angeordnet sind (Abb. 15).

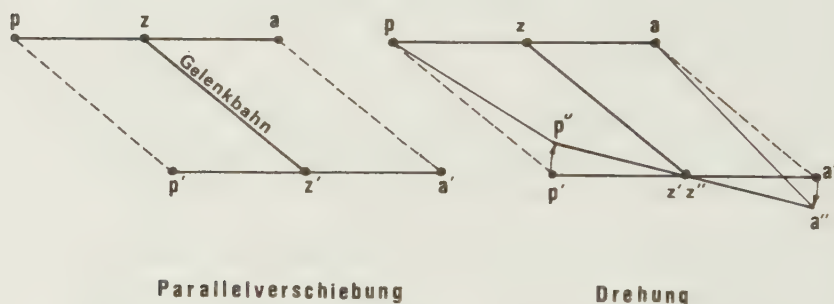


Abb. 15 Parallelverschiebung und Drehung des Kondylus und des mit ihm verbundenen Registrierstiftes bei horizontaler Fehlregistrierung.

Bei der ersten Bewegungskomponente, der Parallelverschiebung, beschreiben der posteriore und anteriore Registrierstift Bewegungsbahnen ($p \rightarrow p'$ und $a \rightarrow a'$), die parallel zur Aufzeichnung der zentralen Gelenkbahn sind ($z \rightarrow z'$).

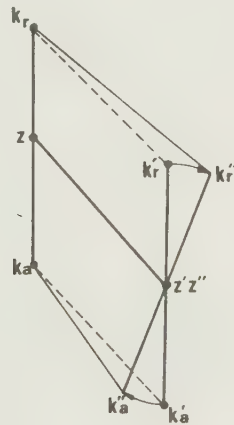
Bei der anschließenden Drehung um den Kondylus z' wird der posteriore Punkt nach kranial, der anteriore nach kaudal gedreht, ($p' \rightarrow p''$ und $a' \rightarrow a''$), bis die Öffnungsstellung erreicht ist.

Da die tatsächliche Bewegung aus dem gleichzeitigen Zusammenspiel beider Bewegungen besteht, ergeben sich Kondylenbahnaufzeichnungen, die zur Aufzeichnung der zentralen Kondylenbahn unter einem bestimmten Winkel stehen.

Man sieht an der Zeichnung, daß die Bahn des posterioren Punktes flacher, die des anterioren Punktes jedoch steiler werden muß als die zentrale Bahn.

Dies steht in guter Übereinstimmung mit den Messungen.

Die gleiche Überlegung läßt sich auch für eine kranial-kaudale Lage der Registrierstifte anstellen (Abb. 16).



Parallelverschiebung

Drehung

Abb. 16 Parallelverschiebung und Drehung des Kondylus und des mit ihm verbundenen Registrierstiftes bei vertikaler Fehlregistrierung.

Hier ergibt sich, daß die Bahn des kranial gelegenen Registrierstiftes flacher ($kr \rightarrow kr''$), die des kaudal gelegenen steiler ($ka \rightarrow ka''$) als die Bahn des zentralen Stiftes wird.

Dies steht ebenfalls in Übereinstimmung mit den Messungen, jedoch nicht so ausgeprägt wie im posterior-anterioren Fall.

4.3 Relative Größe der Abweichungen

Die Messungen zeigen, daß die Abweichungen bei einer posterior-anterioren Verschiebung der Registrierstifte größer sind als bei einer kranial-kaudalen. Auch dies läßt sich anhand eines schematischen Bildes veranschaulichen (Abb. 17).

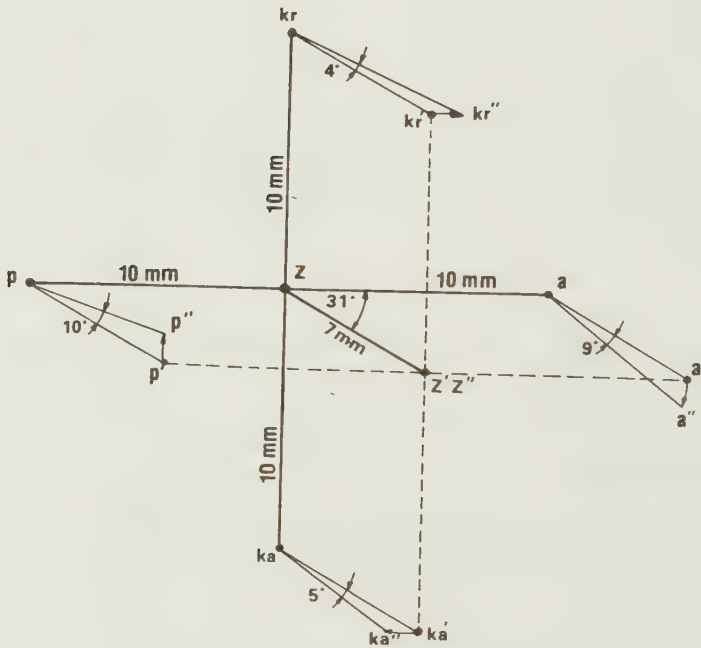


Abb. 17 Schematische Darstellung der von vier gedachten Registrierstiften aufgezeichneten Gelenkbahnen bei ± 10 mm Entfernung vom Scharnierachsenpunkt Z.

Wir betrachten die vier Fehlregistrare bei 10 mm Abstand vom zentralen Punkt Z .

Die Länge der Gelenkbahn sei 7 mm. Der durchschnittliche Gelenkbahnwinkel der zentralen Bahn wird anhand der Messungen auf 31° festgelegt. Aus den Messungen ergibt sich bei einer posterioren Verschiebung des Registrierstiftes von 10 mm eine durchschnittliche Abweichung von etwa 10° .

Nimmt man diesen Wert als Grundlage für die Drehbewegung der Kondylen, so erhält man anterior eine Abweichung von 9° und bei kranio -kaudalen Verlagerungen Abweichungen von 4° bzw. 5° . Diese, aus der theoretischen Überlegung gewonnenen Werte liegen mit Ausnahme des 10 mm kaudalen Wertes innerhalb des Konfidenzbereiches der jeweiligen Mittelwerte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1%. Das gleiche gilt auch für die 5 mm-Werte.

Dieser qualitative Vergleich zwischen Meßergebnissen und Modellüberlegungen ist jedoch mit Vorbehalten versehen, da das Modell davon ausgeht, daß der zentrale Registrierstift genau auf die individuelle Scharnierachse eingestellt war, was bei den Messungen nicht der Fall war.

Außerdem laufen in der Realität die Parallelverschiebung entlang der Gelenkbahn, und die Drehung um den Kondylenpunkt gleichzeitig ab, so daß die gezeichneten Bahnen keine um einen Winkel gedrehten Abbilder der echten Gelenkbahnen sind, sondern mehr oder weniger deformiert sind.

Grundsätzlich stimmen jedoch Messungen und Modell gut überein, wie aus den graphischen Darstellungen (Abb. 18, 19) entnommen werden kann.

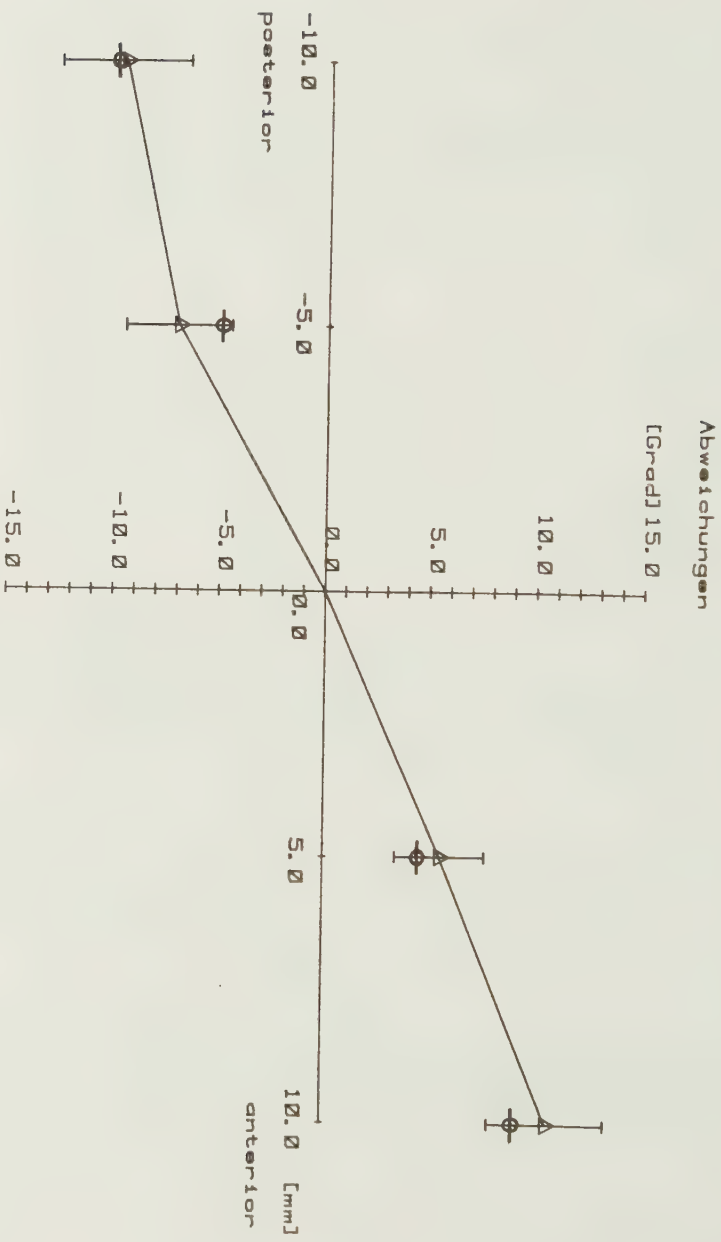


Abb. 18 Vergleich zwischen gemessenem Mittelwert Δ und berechnetem Mittelwert ϕ aus dem zugrundeliegenden mathematischen Modell - in anterior-posteriorer Richtung.

Abweichungen

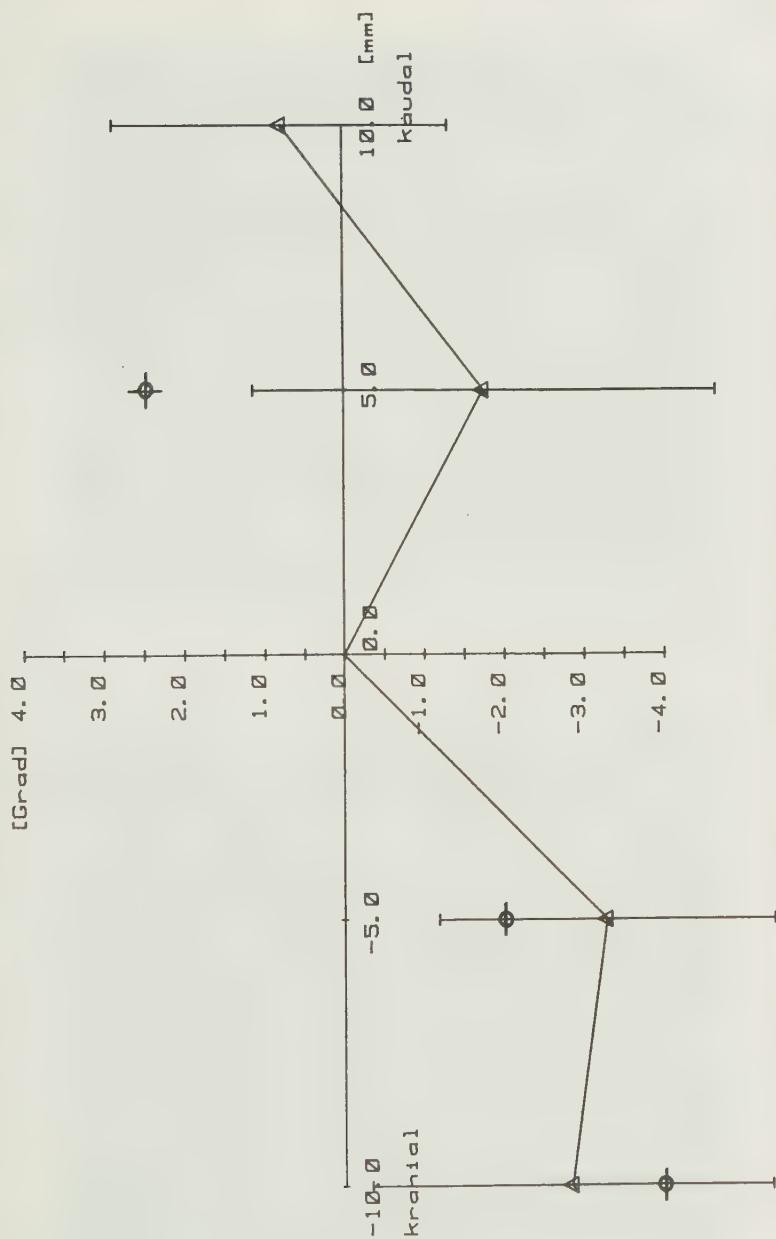


Abb. 19 Vergleich zwischen gemessenen Mittelwert Δ und berechnetem Mittelwert ϕ aus dem zugrundeliegenden mathematischen Modell - in kranio-kaudaler Richtung.

4.4. Photographisches Verfahren zur Bestimmung der sagittalen Kondylenbahn und deren Auswertung durch einen Computer

Die Beschreibung der Trajektorie eines festen Körpers auf einer Ebene kann durch die Koordinaten zweier Punkte dieses Körpers vollständig beschrieben werden (Punkte A und B). Es ist auch möglich, gleiches zu erreichen, wenn die Koordinaten eines Punktes und der Winkel zwischen den Geraden welche die beiden oben genannten Punkte verbindet, und eine Bezugsgerade bekannt sind.

Dieser Winkel ist der Rotationswinkel des festen Körpers und entspricht nicht dem Gelenkbahnneigungswinkel.

Wie in Abb. 4 gezeigt wird, wurde zur Festlegung des Maßstabes ein Lineal mit mm-Einteilung an dem Bügel einer Brille befestigt. Das Lineal diente außerdem als eine zusätzliche Bezugsebene.

Am Unterkiefer wurde ein All-Oral-Gesichtsbogen befestigt. Auf diesen wurden 2 Punkte schwarz auf einem weiß gemalten Hintergrund gekennzeichnet. Der hintere Punkt wurde entsprechend dem Scharnierachsenpunkt festgelegt.

Der Patient wurde aufgefordert, den Mund zu öffnen und dabei wurden vier verschiedene Momente der Öffnungsbewegung bis zur maximalen Mundöffnung photographisch festgehalten (Abb. 20, 21, 22, 23).

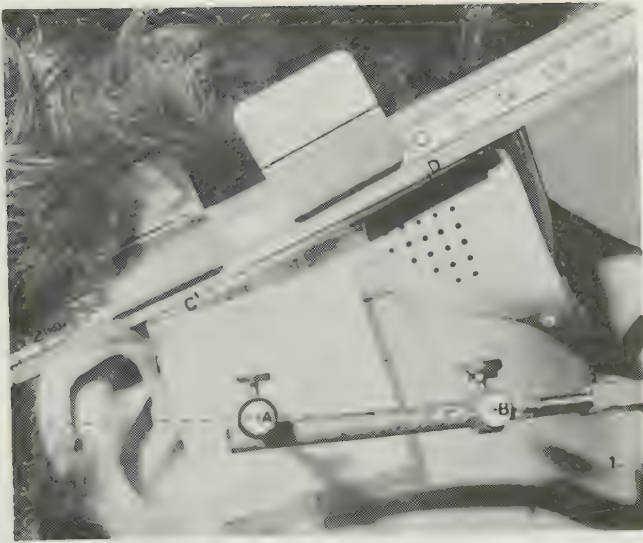


Abb. 20 Aufnahme der ersten Phase der Öffnungsbewegung

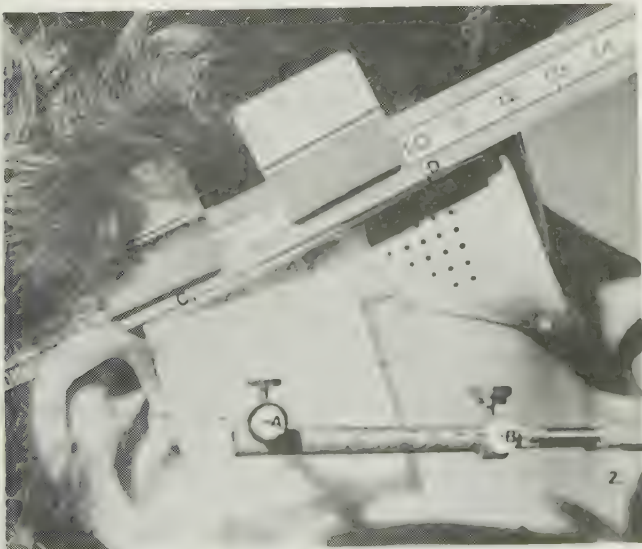


Abb. 21 Aufnahme der zweiten Phase der Öffnungsbewegung

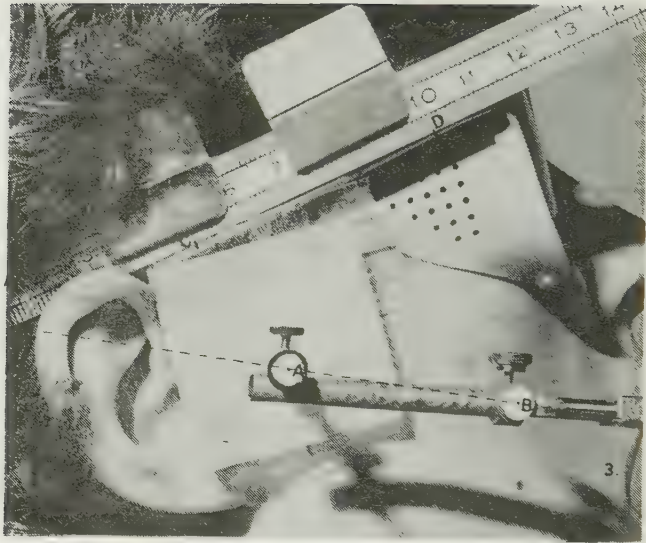


Abb. 22 Aufnahme der dritten Phase der Öffnungsbewegung

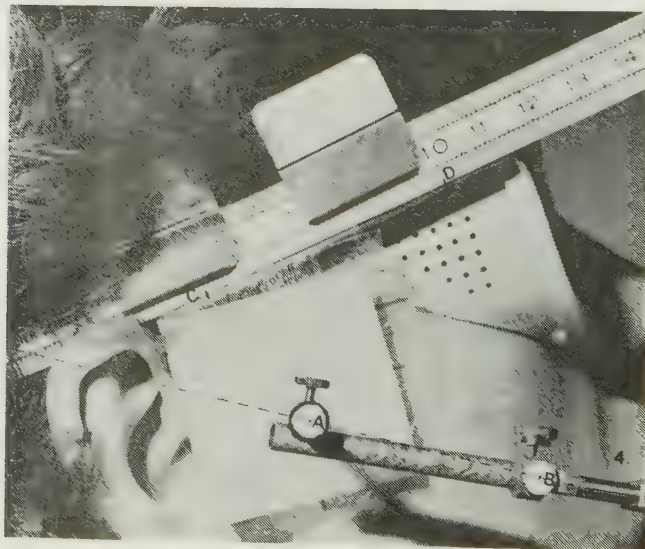


Abb. 23 Aufnahme der vierten Phase der Öffnungsbewegung

4.5 Berechnung der Rotationswinkel

Die Bestimmung der Koordinaten der Punkte A und B auf dem Gesichtsbogen wurden mit Hilfe der in Abb. 20 definierten Abstände zu zwei festen Punkten - C und D - auf dem Lineal ermittelt (Abb. 24).

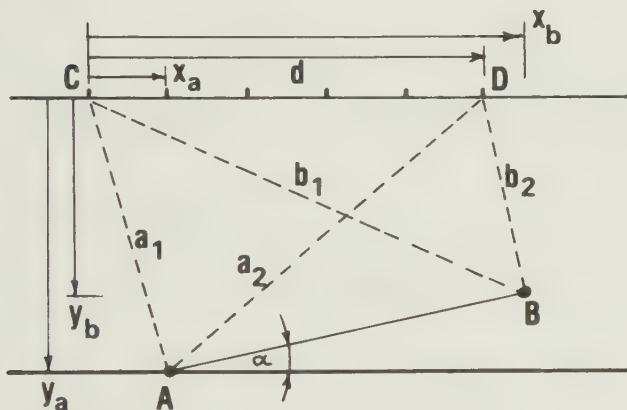


Abb. 24 Schematische Darstellung für die Berechnung der Trajektorien bei der Öffnungsbewegung.

Definition des Meßverfahrens:

A und B: Bezugspunkte auf dem Gesichtsbogen

C und D: Bezugspunkte auf dem Lineal

a_1, a_2, b_1 und b_2 : Abstände zwischen den Bezugspunkten
 $D = (d, 0), A = (x_a, y_a), B = (x_b, y_b)$: Koordinaten relativ zu C

α = Winkel zwischen Gesichtsbogen und Lineal

Unter Anwendung des Satzes von Pythagoras erhält man:

$$a_1^2 = x_a^2 + y_a^2$$

$$a_2^2 = (d - x_a)^2 + y_a^2$$

Die Variable y_a wird durch Abziehen der zweiten Gleichung von der ersten eliminiert:

$$a_1^2 - a_2^2 = 2dx_a - d^2$$

Aus dieser läßt sich wiederum die Variable x_a lösen:

$$x_a = \frac{a_1^2 + d^2 - a_2^2}{2d}$$

Setzt man x_a in die erste Gleichung ein, so erhält man die Lösung für y_a :

$$y_a = -\sqrt{a_1^2 - x_a^2}$$

Analog erhält man für die Koordinaten des Punktes B:

$$x_b = \frac{b_1^2 + d^2 - b_2^2}{2d}$$

$$y_b = -\sqrt{b_1^2 - x_b^2}$$

Der Rotationswinkel α läßt sich aus den Koordinaten der Punkte A und B wie folgt bestimmen:

$$\alpha = \arctan \left(\frac{y_b - y_a}{x_b - x_a} \right)$$

4.6 Berechnung der Trajektorien bei der Öffnungsbewegung

Mit Hilfe eines Computers und den in Tabelle 4 aus den photographischen Aufnahmen gewonnenen Meßwerten, wurden die Koordinaten des Punktes A (entsprechende Position des Scharnierachspunktes) und des Rotationswinkels bestimmt. Die zwischen den vier verschiedenen Öffnungsphasen liegenden Punkte wurden durch Interpolation berechnet.

Die Ergebnisse wurden verwendet, um die Trajektorien des Punktes A und die der um 5 bzw. 10 mm in kranio-kaudaler und anterior-posteriorer Richtung verschobenen Punkte graphisch darzustellen.

Die Berechnung der verschobenen Punkte erfolgte mit der Koordinaten-Transformation gemäß (Abb. 25):

$$x'_e = x'_a + r \cos (\rho + \alpha - \alpha')$$

$$y'_e = y'_a + r \sin (\rho + \alpha - \alpha')$$

wobei für den Ausgangspunkt (bei geschlossenem Mund mit minimaler vertikaler Bißsperrung) die Beziehungen

$$x_e = x_a + r \cos \rho$$

und

$$y_e = y_a + r \sin \rho$$

gelten.

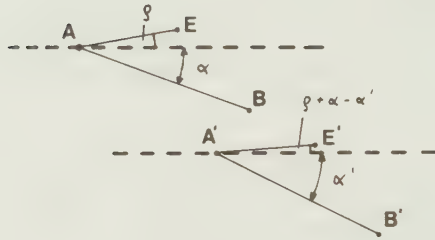


Abb. 25 Schematische Darstellung für die Berechnung der Trajektorien bei der Öffnungsbewegung.

Koordinaten-Transformation:

ϑ = Winkel zwischen der Geraden AE und dem Lineal bei geschlossenem Kiefer

r = Abstand zwischen den Punkten AE bzw. A'E'

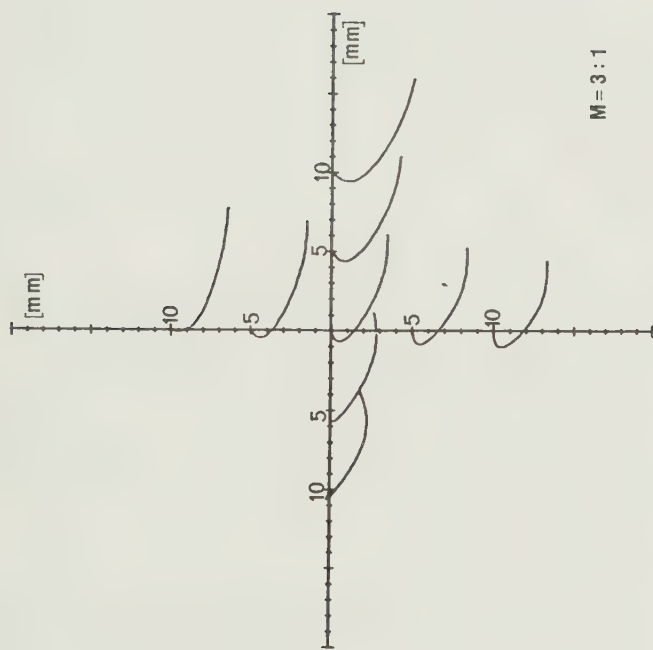
α = Winkel bei geschlossenem Kiefer gemäß Bild 24

α' = Winkel nach der Öffnungsbewegung gemäß Bild 24

$\alpha - \alpha'$ = Drehwinkel

$E = (x_e, y_e)$ Koordinaten des Berechnungspunktes

Dabei wird deutlich, daß in dem gewählten Änderungsbereich der Ausgangspunkte die Gelenkbahnen sich nur unwesentlich voneinander unterscheiden (Abb. 26).



$M = 3 : 1$

Abb. 26 Darstellung der vom Computer aufzeichneten Kondylenbahn.

Für die Praxis läßt sich damit sagen, daß bei der extraoralen Aufzeichnung des Kondylenbahnwinkels Abweichungen von weniger als 10 mm vom eigentlichen Scharnierachspunkt zu keinen gravierenden Fehlern und einschneidenden Auswirkungen auf die Okklusionsgestaltung des Zahnersatzes führen.

Legt man die Untersuchungen von BOSMAN (2) sowie von BRATSCHKO, CARTELLIERI, LEOPOLD und MOSER (3) über die Abweichung des arbiträren Gelenkachspunktes gegenüber individuell bestimmten Scharnierachspunkten zugrunde, würden diese in der Mehrzahl in einem Radiusbereich von 5 mm um den arbiträren Achspunkt liegen.

So lassen sich nach unseren Untersuchungen Grenzwinkel angeben, die bei anterior-posteriorer Abweichung $\pm 6,2^{\circ}$ und in kranio-kaudaler $\pm 2,4^{\circ}$ betragen.

Diese Fehlergrößen des Gelenkbahnwinkels führen nach den Untersuchungen von v. HESLER, HOFMANN und PRÖSCHEL (9) und HOFMANN und PRÖSCHEL (12) bei der Gestaltung der Okklusalflächen auf der Mediotrusionsseite (Balanceseite) im ungünstigen Fall zu um 100 μ m zu hoch gestalteten Höckern, auf der Laterotrusionsseite (Arbeitsseite) zu um 6 μ m zu hohen Höckern.

Eine zu hohe Höckergestaltung, die ein kleiner Gelenkbahnwinkel gegenüber dem exakt ermittelten induziert, hat überhaupt keine funktionellen Nachteile. Auch die Auswirkungen in der Horizontalen sind vernachlässigbar gering. Damit läßt sich sagen, daß Abweichungen des Ausgangspunktes vom Scharnierachsenpunkt in dem diskutierten Ausmaß keine negativen praktischen Konsequenzen haben.

5.0 ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden die Fehlermöglichkeiten untersucht, die sich bei der Bestimmung der Gelenkbahnneigung ergeben, wenn die Punkte, von denen die Aufzeichnung ausgeht, variieren.

Die Untersuchungen erfolgten an 30 Probanden mit voll-bezahntem, gesundem Gebiß. Die Registrierungen wurden mit dem All-Oral Besteck durchgeführt. Die Ausgangspunkte wurden jeweils um 5 bzw. 10 mm gegenüber dem arbiträren Scharnierachsenpunkt (12 mm vom Tragusrand entfernt, auf der Linie Mitte des Tragus - äußerer Augenwinkel) variiert und zwar in anterior-posteriorer und kranio-kaudaler Richtung.

Als generelles Ergebnis ließ sich statisch sichern, daß bei Verlagerung der Ausgangspunkte in kranialer und posteriorer Richtung vom eigentlichen Scharnierachsenpunkt kleinere Gelenkbahnwinkel, bei Abweichungen nach kaudaler und anteriorer größere Winkel gemessen wurden. Die an den Probanden ermittelten Werte wurden anhand eines Computermodells auf ihre Stichhaltigkeit überprüft. Dabei ergab sich eine gute Übereinstimmung. Die Abweichungen vom Normwinkel sind bei Verlagerung der Ausgangspunkte in kranio-kaudaler Richtung kleiner als in anterior-posteriorer Richtung. Sie liegen hier bei der maximalen Verlagerung des Ausgangspunktes von 10 mm in der Größenordnung von - 8,5 % bis + 2,4 %, während sie bei anterior-posteriorer Verlagerung mit - 29 % und + 39 % erheblich größer sind. Bei Abweichungen der Ausgangspunkte in einem Radius von 5 mm oder weniger vom eigentlichen Scharnierachspunkt sind die daher auftretenden Fehler so gering, daß sie praktisch keine Auswirkungen auf die Okklusionsgestaltung haben.

TABELLE 1: n = 30 Probanden

	10	A _p	5	10	A _{cr}	5	A	10	A _{ca}	5	10	A _a	5
1	40,00	48,66		42,66	50,00		48,50	53,56	46,66		57,00	64,00	
2	19,00	23,23		21,00	20,00		22,83	25,00	24,66		30,66	27,00	
3	14,00	12,66		11,00	12,00		17,50	12,00	10,66		25,33	27,00	
4	22,00	35,66		39,00	36,33		39,00	41,66	39,00		45,00	46,66	
5	39,00	42,00		46,66	43,66		46,66	45,00	49,66		52,00	51,66	
6	31,00	30,33		34,00	37,33		40,17	40,66	40,00		57,33	45,00	
7	7,33	12,33		32,00	19,66		21,50	33,33	25,66		40,00	23,00	
8	9,66	12,00		29,66	14,00		21,33	19,66	18,66		40,00	32,33	
9	27,00	32,66		30,00	35,00		37,66	39,33	36,66		44,33	45,00	
10	34,00	32,66		33,00	33,66		38,00	38,00	38,00		48,33	40,66	
11	30,66	29,33		31,00	32,00		36,00	35,33	37,33		40,00	36,00	
12	20,00	33,66		34,00	33,00		39,17	36,33	30,00		42,66	48,33	
13	19,33	28,66		34,33	35,00		34,50	29,66	30,00		40,00	40,66	
14	28,00	31,33		44,00	44,66		46,17	46,33	49,66		55,00	49,33	
15	20,33	15,33		27,33	19,66		24,66	25,33	22,00		29,66	28,00	
16	-	10,00		13,00	11,66		12,83	-	-		30,00	19,66	
17	23,00	17,33		37,66	25,00		37,83	41,66	22,00		49,66	31,00	
18	18,33	27,66		20,66	30,00		25,17	26,00	36,66		42,00	30,33	
19	18,00	28,33		26,00	25,66		35,17	25,66	29,00		41,00	40,00	
20	29,00	29,66		37,00	34,66		42,27	48,00	45,33		50,33	44,33	
21	11,66	22,00		14,66	24,66		14,17	28,33	20,33		40,33	34,33	
22	35,00	27,66		31,66	39,66		39,33	40,00	37,00		45,33	41,00	
23	27,33	20,66		31,33	23,33		27,50	29,66	26,00		30,33	28,66	
24	20,33	27,66		20,33	29,33		31,00	35,00	31,66		45,33	41,00	
25	26,00	25,00		27,33	30,66		26,66	32,33	27,66		36,00	37,33	
26	27,00	24,66		37,00	27,66		35,17	37,33	30,00		47,33	39,66	
27	20,66	16,33		27,00	30,33		28,83	31,66	29,66		37,00	29,66	
28	-	10,66		14,00	13,00		24,00	16,66	10,66		40,66	30,33	
29	-	11,66		13,66	12,66		21,17	21,66	10,00		37,33	30,00	
30	14,00	19,33		24,33	27,66		25,66	25,00	23,00		48,33	34,33	

Mittelwerte der Gelenkbahnwinkel von jeweils drei
Messungen aller Probanden (in Grad)

→

FORTSETZUNG VON TABELLE 1

	10 A _p 5	10 A _{cr} 5	A	10 A _{ca} 5	10 A _a 5
Mittelwert in Grad	23,39 24,64	28,84 28,39	31,66	33,10 30,59	42,27 37,20
Durchschnitt Abweichung in Grad	-9,6 -7,0	-2,8 -3,2	-	+0,7 -1,7	+10,0 +5,5
Standard Abweichung	5,2 4,9	5,0 4,2	-	4,1 5,6	5,3 4,2
Abweichung in Prozent	-29 -23	-8,5 -11	-	2,4 -6,2	39 20
Standard Abweichung	16 16	20 15	-	16 21	30 17

TABELLE 2

Abweichung	$S_{\bar{x}}$	n	$t\alpha S_{\bar{x}}$ (1 %)
A_{p10}	5,2	27	3,0
$A_p 5$	4,9	30	2,5
$A_a 5$	4,2	30	2,1
A_{a10}	5,3	30	2,7
A_{cr10}	5,0	30	2,5
$A_{cr 5}$	4,2	30	2,1
$A_{ca 5}$	5,6	29	2,9
A_{ca10}	4,1	29	2,1

Standardfehler, Probandenanzahl und Konfidenzgrenzen bei 1 % Irrtumswahrscheinlichkeit für jeden Mittelwert.

TABELLE 3

Verlagerung nach	mögliche Abweichung [°]
A_{p10}	- 12,6 bis - 6,6
$A_p 5$	- 9,5 bis - 4,5
$A_a 5$	3,4 bis 7,6
A_{a10}	7,3 bis 12,7
A_{cr10}	- 5,3 bis - 0,3
$A_{cr 5}$	- 5,3 bis - 1,1
$A_{ca 5}$	- 4,6 bis 1,2
A_{ca10}	- 1,4 bis 2,8

Konfidenzbereiche der Abweichungen bei 1 % Irrtumswahrscheinlichkeit.

TABELLE 4

a_1 (mm)	a_2 (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	x_a (mm)	y_a (mm)	α (°)
25,80	56,50	60,50	45,00	- 0,27	- 25,80	- 23,81
26,00	57,00	62,00	47,30	- 0,73	- 25,99	- 26,08
28,50	56,00	65,00	51,20	1,76	- 28,45	- 29,22
29,80	53,00	69,00	54,20	5,79	- 29,23	- 33,24

Meßwerte aus den photographischen Aufnahmen; Koordinaten und Rotationswinkel berechnet gemäß Bild 24.

6.0 LITERATURVERZEICHNIS

1. BECK, H. : A Clinical Evaluation of the Arcon
concept of Articulation.
J. prosth. Dent. 9, 409 - 421, May 1959
2. BOSMAN, A.E. : Hinge Axis determination of the mandible.
Habilitationsschrift Utrecht (1974)
3. BRATSCHKO, R. : Vergleichende Scharnierachsenuntersuchungen
CARTELLIERI, W. Dtsch. zahnärztl. Z. 34, 876 - 879 (1979)
LEOPOLD, S.
MOSER, F.
4. FISCHER, R. : in: Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Hrsg. von K. Häupl, Bd. 4, 95 - 176 (1954)
5. GERBER, A. : Registrier-Technik für Prothetik -
Okklusionsdiagnostik - Okklusionstherapie.
Zürich - Schweiz, Juli 1970
6. GYSI, A. : Artikulationsproblem
Verlag von August Hirschwald, Berlin(1908)
7. GYSI, A. : L'Etat actuel du problème de l'articulation.
L'Odontologie 34e Année Vol. 51, Nos. 9-10,
385 - 398, 433, 446, May 1914
8. HANAU, R.L. : Full Denture prosthesis. Intraoral technique
for Hanau articulator model.
H. 4th ed. Buffalo, (1930)
9. v. HESLER, H. : Geometrisch-mathematische Analyse von
HOFMANN, M. Übergangsfehlern in den Artikulator und
PRÖSCHEL, P. deren praktische Auswirkungen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 32, 599 - 605 (1977) .

10. HOFMANN, M. : Totale Prothesen nach dem All-Oral-Verfahren
Carl Hanser Verlag, München-Wien (1975)
11. HOFMANN, M. : All-Oral-Registrierer und Übertragungsbesteck.
Detax-Dental Carl Huber - Karlsruhe
12. HOFMANN, M. : Geometrisch-mathematische Analyse von
PRÖSCHEL, P. Übergangsfehlern in den Artikulator und
deren praktische Auswirkungen, II Teil
Dtsch. zahnärztl. Z. 33, 529 - 539 (1978)
13. KOLLER, S. : Neue graphische Tafeln zur Beurteilung
statistischer Zahlen
Dr. Dietrich Steinkopf Verlag, Darmstadt (1969)
14. PEZOLLI, M. : Die Registrierung der sagittalen Kondylen-
bahn bei Totalprothesen.
Zahnärztliche Praxis 19, Okt. 1968
15. SETZ, D. : Vergleichende Untersuchungen über die
Messung der Gelenkbahnneigung.
Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 187 - 190 (1971)
16. THOMAS, P. : Personal communication
Study club (1971)

Zum Schluß dieser Arbeit erlaube ich mir,
Herrn Prof. Dr. Manfred Hofmann für die
Überlassung des Themas und für seine An-
leitung zu dieser Arbeit meinen herzlichen
Dank auszusprechen.

Herrn Priv. Doz. Dr. Erich Wehrhahn aus
dem Institut für Elektronik, Lehrstuhl für
Allgemeine und Theoretische Elektronik und
Herrn Dipl. Phys. Peter Pröschel aus der
Poliklinik für zahnärztliche Prothetik ver-
danke ich wertvolle Unterstützung und
technische Hinweise.

Darüberhinaus danke ich all denen, die durch
Rat und persönliche Unterstützung freundlicher-
weise an der Entstehung dieser Arbeit mitge-
holfen haben.

LEBENS LAUF

Am 12. September 1944 wurde ich als erstes von vier Kindern des Kaufmanns Luis Olavarria und seiner Frau Ines, geborene Astudillo in Valparaiso/Chile geboren.

Von 1950 bis 1961 besuchte ich die Grund- und Oberschule. 1962 legte ich das Abitur im Fach Biologie ab. Im Jahr 1963 begann ich das Zahnmedizinstudium an der Universität Chile. Nachdem ich die Prüfungen der verschiedenen Fächer vom ersten Jahr abgelegt hatte, wurde ich als wissenschaftliche Hilfskraft im Fach allgemeine Biologie eingestellt. Im September 1968 legte ich das Staatsexamen ab und bekam das Diplom als Zahnarzt.

Von 1969 bis 1975 habe ich in eigener Praxis gearbeitet.

Ende 1973 wurde ich als Assistent an der Prothetischen Abteilung der Universität Chile eingestellt.

Ich erhielt dann 1975 ein Stipendium vom Deutschen Akademischen Austauschdienst für die Bundesrepublik Deutschland, worauf ich meine Weiterbildungsstudien an der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Universität Erlangen-Nürnberg bei Professor Hofmann aufnahm.

Nach Ablauf meines Stipendiums bekam ich zunächst eine Stelle als Wissenschaftlicher Assistent an der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik. Im April 1978 wechselte ich in die Poliklinik für Zahnerhaltung und Prodentologie über, um hier weitere klinische und didaktische Erfahrungen zu sammeln.

Seit 1969 bin ich mit der Zahnärztin Ruth Olavarria, geborene Madariaga, verheiratet und habe vier Kinder.

Copy-Center 2000

852 ERLANGEN · Obere Karlstr. 30
Tel. 09131-26197